

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Ю. Н. КРОНЕБЕРГ

(Представлена семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Отсутствие эффективных способов воздействия на поток постоянных магнитов (ПМ) существенно затрудняет регулирование магнитоэлектрических машин. Проблема эта сопутствует всему их развитию, но сейчас актуальность ее резко повысилась благодаря крупным успехам в области магнитотвердых сплавов [1, 2].

В настоящее время основными являются электромагнитные способы регулирования (с помощью специальных обмоток, размещенных в машине). Существует два принципиально разных механизма воздействия регулировочных обмоток на рабочий магнитный поток. В первом случае она играет роль обмотки возбуждения (ОВ) и, имея непосредственную индуктивную связь с якорем, может наводить эдс даже при размагниченных ПМ. Во втором — только подмагничивает нелинейные магнитопроводы, что в какой-то мере эквивалентно изменению магнитного сопротивления. При размагниченных ПМ эдс не наводится. Анализ показывает [3], что в целом более перспективны машины первого рода, т. е. с комбинированным возбуждением (КВ).

Количество известных машин КВ уже достаточно велико и нуждается в систематизации. При этом необходимо положить в основу такие классификационные признаки, которые бы отразили сущность самих систем возбуждения и позволили отвлечься от привходящих обстоятельств.

По нашему мнению, основополагающим признаком (рис. 1) является структурный уровень машины, на котором происходит объединение действия ПМ и ОВ. Ниже поясним это подробнее. На рис. 2 и 3 приведены некоторые, внешне весьма различные, конструкции известных машин КВ. Всем им, однако, присуща одна особенность: поток каждого полюса по величине одинаков и создается совместным действием н.с. ПМ и ОВ. Этим они значительно отличаются от машин (рис. 4, 5), у которых часть полюсов возбуждается от ПМ, а остальные — от ОВ. Наконец, существует класс машин, характеризующихся наличием двух или нескольких индукторов (обычно скомпонованных вдоль оси), часть из которых возбуждается от ПМ, а часть — от ОВ. Если каждый индуктор возбуждает отдельный якорь, то удобнее говорить о раздельных машинах, однако чаще якоря выполняются общими, наблюдается магнитная связь индукторов и тогда систему нужно рассматривать совокупно.

Таким образом, имеется три структурных уровня объединения действия ПМ и ОВ, в соответствии с чем машины первого класса можно назвать машинами с комбинированными полюсами, второго — с ком-

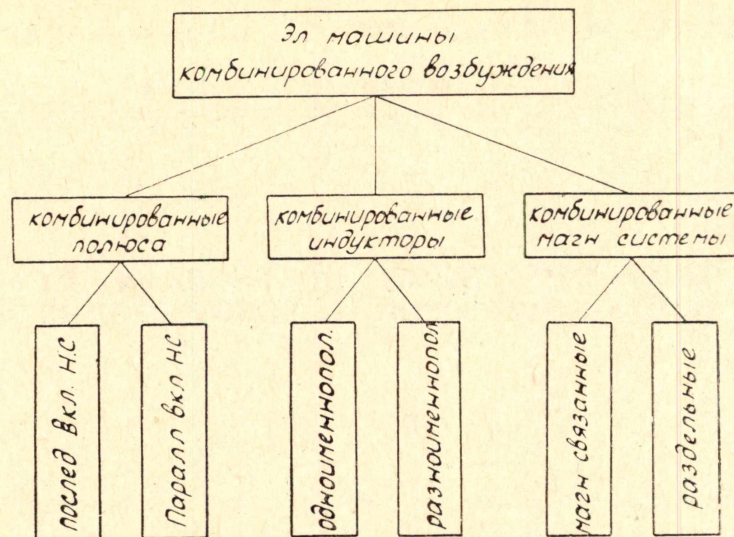


Рис. 1. Классификационная схема машин комбинированного возбуждения

бинированными индукторами и третьего — с комбинированными магнитными системами. В настоящее время основное значение имеют машины первых двух классов, поэтому остановимся на них подробнее.

Анализируя машины с комбинированными полюсами, можно заметить, что ОВ сцепляется либо с полным потоком машины (рис. 2), либо только с потоком магнитопровода, включенного параллельно ПМ (рис. 3). В первом случае н.с. ОВ и ПМ включены последовательно, во втором — параллельно. В обоих случаях постепенное увеличение тока ОВ ведет к увеличению потока якоря; поток магнитного шунта вначале уменьшается, затем исчезает и вновь увеличивается уже в обратном направлении. Разница в том, что при последовательном КВ н.с. ОВ препятствует размагничиванию ПМ, так как она включена с его н.с. согласно (режиму стабилизации соответствует минимальный ток ОВ), а при параллельном — способствует. Это обстоятельство, бесспорно, в пользу последовательного КВ. Но далеко не всегда оно является решающим. Важное значение имеют и другие факторы: рациональность компоновки активных элементов индуктора, обеспечение бесконтактности, конструктивная простота и др. Поэтому нельзя отдать однозначного предпочтения какой-либо из групп. В настоящее время машины переменного тока выполняются преимущественно с параллельным КВ, а постоянного — с последовательным.

Машины с комбинированными индукторами различаются построением полюсных систем и делятся на две группы. К первой (рис. 4) относятся машины, у которых полюса одной полярности возбуждаются от ПМ, а другой — от ОВ (точнее речь идет лишь о преимущественном влиянии источников н.с., так как магнитная система связанная), т. е. совмещаются две одноименнополюсные системы. Ко второй группе (рис. 5) относятся машины, индукторы которых образуются совмещением разноименнополюсных электромагнитной и магнитоэлектрической полюсных систем.

Машины с комбинированными индукторами, образованные совмещением одноименнополюсных систем, отличаются специфичным распределением потока расточки якоря (рис. 6 а): оно знакопеременное, как в переменнопольных (альтернативных) машинах, но в общем случае имеет постоянную составляющую, типичную для индукторных (пульсационных) машин. Чтобы она могла замыкаться, необходимы

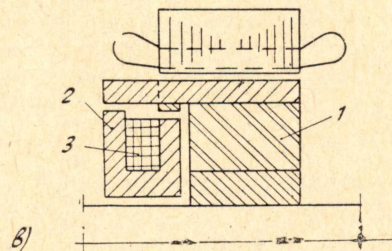
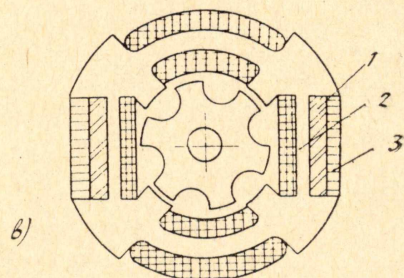
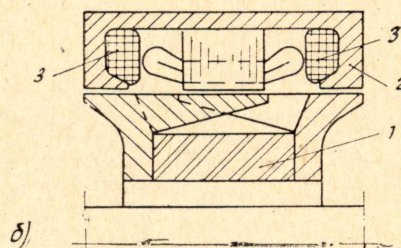
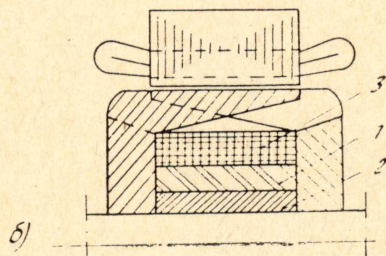
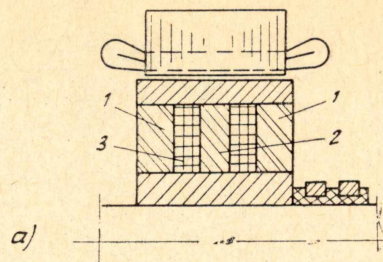
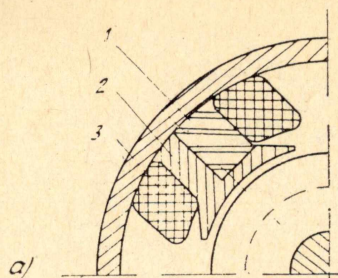


Рис. 2. Электрические машины с последовательным комбинированным возбуждением [2]: а — постоянного тока; б — синхронная с когтеобразным ротором; в — индукторная. 1 — магнит; 2 — магнитный шунт, 3 — обмотка возбуждения

Рис. 3. Электрические машины с параллельным комбинированным возбуждением а — синхронная явнополюсная [4]; б — синхронная с внешнезамкнутым регулирующим потоком [5]; в — синхронная с внутризамкнутым регулирующим потоком [6]. 1 — магнит, 2 — магнитный шунт, 3 — обмотка возбуждения

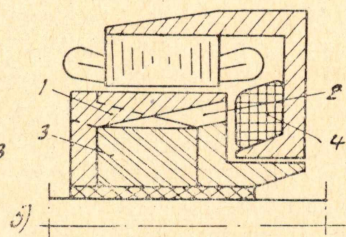
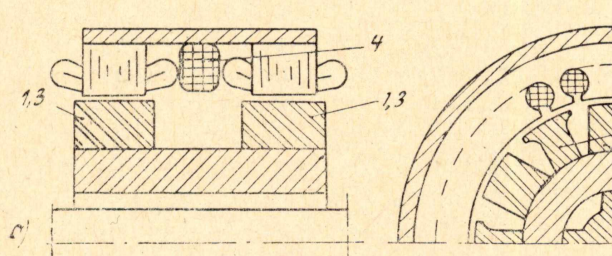


Рис. 4. Электрические машины с комбинированными индукторами (совмещение одноименнополюсных систем) а — двухпакетная явнополюсная [7]; б — однопакетная когтеобразная [8]. 1 — полюс, возбуждаемый магнитом; 2 — полюс, возбуждаемый электромагнитом, 3 — магнит, 4 — обмотка возбуждения

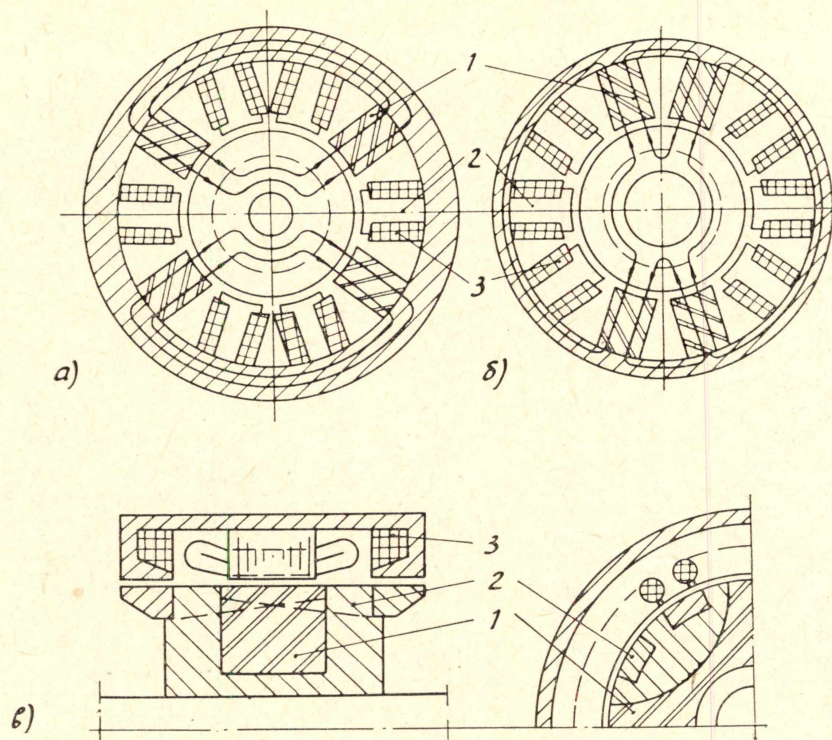


Рис. 5. Электрические машины с комбинированными индукторами (совмещение разноименнополюсных систем)
 а — явнополюсная с нормальным чередованием магнитов,
 б — явнополюсная с нарушенным чередованием магнитов,
 в — бесконтактная с внешнезамкнутым потоком электро-
 магнитных полюсов [9] 1 — магнит, 2 — электромагнитный
 полюс, 3 — обмотка возбуждения

осевые магнитопроводы и либо двухпакетное исполнение (рис. 4 а), либо дополнительный воздушный зазор (рис. 4 б). Когда ОВ выключена, поток ПМ замыкается по своим полюсам и осевым магнитопроводам (рис. 6 а, сплошные линии). При постепенном увеличении тока ОВ поток электромагнитных полюсов (рис. 6 а, пунктир) и эдс проводников якоря, расположенных в текущий момент против них, также увеличиваются. Осовой поток (постоянная составляющая потока якоря) вначале снижается, затем исчезает и далее увеличивается в обратном направлении. Машины этой группы, называемые еще альтернативно-пульсационными, относятся к числу перспективных.

Машины, индукторы которых образованы совмещением разноименнополюсных систем, также имеют специфичное распределение поля расточки якоря (рис. 6 б), характеризующееся наличием субгармонических составляющих. Когда ОВ выключена, поток ПМ замыкается преимущественно по своим полюсам (рис. 6 б, сплошные линии). При постепенном увеличении тока ОВ поток электромагнитных полюсов (рис. 6 б, пунктир) и эдс соответствующих проводников обмотки якоря также увеличиваются. Принципиально магнитоэлектрические полюса могут располагаться в любом порядке (число северных и южных полюсов должно быть, конечно, одинаковым). Но для лучшего использования стали желательно, чтобы соблюдалось нормальное чередование магнитоэлектрических полюсов (т. е. северный — южный — северный и т. д.), в противном случае ярмо и спинка якоря при отключенной ОВ оказываются перегруженными (рис. 5 а, б) и их сечения приходится увеличивать. Другое дополнительное требование к расположению полюсов — симметрия, необходимая для обеспечения магнитного уравновешивания ротора независимо от величины тока ОВ.

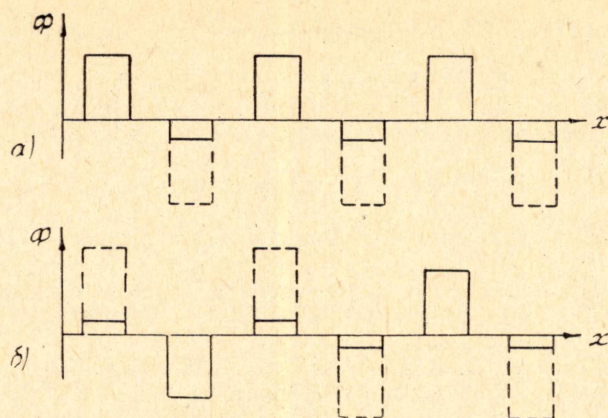


Рис. 6. Поля машин с комбинированными индукторами:

- а — при совмещении одноименнополюсных систем,
б — при совмещении разноименнополюсных систем.

Рассмотренные классы и группы систем КВ являются основными. В принципе возможны также гибридные системы, являющиеся объединением двух или нескольких простых (например, можно представить машины с комбинированным индуктором, некоторые полюса которого выполнены комбинированными). Однако в настоящее время среди машин гибридных типов так же, как и среди машин с комбинированными магнитными системами, удачные решения неизвестны. При необходимости гибридные типы машин КВ легко могут быть классифицированы по предложенной схеме путем введения промежуточных разрядов.

Как следует из рис. 1, количество основных типов систем КВ относительно невелико. Однако каждый из них обладает широкими возможностями приложения, так как принципиально любая магнитоэлектрическая или электромагнитная машина может рассматриваться как частный случай машины КВ, т. е. служить основой для разработки нескольких производных вариантов, отличающихся построением систем КВ. Это наблюдается уже на приведенных примерах, число которых может быть легко умножено. На этой основе возможна и дальнейшая детализация классификационной схемы. Например, по роду тока (постоянный, переменный), по типу полюсов (радиальные, явно выраженные, когтеобразные, неявно выраженные), по типу якоря (цилиндрический, торцевой) и т. д. Все эти признаки, как и многие другие, очень существенны для каждой конкретной машины, но не имеют прямого отношения к системам возбуждения и поэтому нецелесообразны для введения в данную классификационную схему.

Нетрудно убедиться, что предложенная систематизация базируется на фундаментальных признаках, отражающих сущность протекания электромагнитных процессов. Принадлежность группы машин к какому-либо классификационному разряду обуславливает подобие картин распределения поля в расточке якоря и приведенных схем замещения магнитной цепи. Отсюда общность расчета основных внутренних параметров (коэффициентов магнитных полей, индуктивных сопротивлений, стальных потерь и др.) и выходных характеристик в установившихся и переходных процессах.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Балагуров. Перспективы применения генераторов переменного тока с постоянными магнитами из новых материалов. Тезисы докладов Второй всесоюзной конференции по бесконтактным электрическим машинам, Рига, 1963.
2. Л. М. Паластин. Регулируемые электрические машины с возбуждением от

постоянных магнитов. ЦИНТИ электротехнической промышленности и приборостроения, 1962.

3. А. С. Жибинов, Ю. Н. Кронеберг. Об эффективности регулирования магнитоэлектрических машин подмагничиванием нелинейных магнитопроводов. Сб. «Устройства электропитания и электропривода малой мощности». Т. 2. «Энергия», 1970.

4. G. Moresse, R. Dechet. Индуктор электрической машины. Франц. пат. № 1238273, 4. 7. 60.

5. В. В. Аpsит. Синхронная электрическая машина. Авт. свид. СССР, кл. 21 d² 1,5 № 147657, 21. 6. 61.

6. Ф. Ф. Галтеев. Расчет внешних характеристик генераторов переменного тока смешанного возбуждения. Известия АН СССР, «Энергетика и транспорт», 1964, № 6.

7. Ю. Н. Кронеберг, В. Б. Гомзяков, А. С. Жибинов. Двухпакетный генератор. комбинированного возбуждения. Известия ТПИ. Т. 212, 1971.

8. Ю. Н. Кронеберг, А. С. Жибинов. Альтернативно-пульсационный генератор и основы его расчета. Труды Третьей всесоюзной конференции по бесконтактным электрическим машинам, Рига, 1966.

9. Ю. Н. Кронеберг. Бесконтактная синхронная машина. Авт. свид. СССР, кл. 21 d², 3, № 188562, 18. 7. 62.